УДК 662.743

Шевченко Г.Л., Шишко Ю.В., Губинський С.М., Кремнева Є.В., Усенко А.Ю.

# ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ФІЛЬТРАЦІЙНОГО ГОРІННЯ У ЩІЛЬНОМУ ШАРІ БІОМАСИ

**Актуальність проблеми.** Нестабільне економічне і енергетичне становище у світі та Україні створює попит на технології, які дозволяють споживачам зменшити придбання енергоносіїв зі сторони за рахунок використання, так званих, «місцевих палив» – лушпиння соняшника та гречихи, шкарлупа грецького горіха та ін. При цьому, технології для масового використання повинні задовольняти вимогам енергетичної та екологічної ефективності, надійності в експлуатації та бути простими в реалізації.

**Мета дослідження.** Одним з ефективних рішень цієї проблеми є застосування процесу термічної переробки біомаси шляхом піролізу у щільному шарі в реакторі шахтного типу з організацією режиму фільтраційного горіння. Такий процес дозволяє отримати паливний газ та твердий вуглистий залишок (біовугілля), який можливо переробляти далі шляхом газифікації або використовувати у твердому вигляді.

Для впровадження запропонованої технології серед широкого кола споживачів необхідно мати відпрацьований механізм керування параметрами процесу, який дозволить отримувати кінцеві продукти заданої кількості та якості. Режим фільтраційного горіння передбачає поступове переміщення теплової хвилі фронту горіння по висоті шару біомаси з одночасним розкладанням біомаси у фронті горіння на тверду та газоподібну фази. Отже, для надійного керування процесом необхідно детальне вивчення основних характеристик, що впливають на інтенсивність руху теплової хвилі по висоті шару біомаси, а саме:

– швидкість руху та товщина фронту горіння;
– насипна щільність та порозність шару біомаси;
– рівномірність руху теплової хвилі по перетину нерухомого шару;
– теплопровідність матеріалу.

На кафедрі промислової теплоенергетики НМетАУ були проведені експериментальні дослідження вищеназваних параметрів шляхом візуального спостереження за механізмом руху фронту горіння, визначено основні напрямки та режимні параметри при проведенні експериментів.

**Методика експериментальних досліджень.** Метою експериментальних досліджень було визначення основних чинників, що впливають на інтенсивність процесів теплопереносу у щільному шарі біомаси та візуальне спостереження за механізмом руху фронту горіння.

Для проведення експериментальних досліджень створено установку з візуалізації процесу термічної переробки біомаси у щільному шарі. Установка являє собою трубу з кварцового скла діаметром 135 мм, висотою 420 мм. Над трубою передбачено встановлення пальника на природному газі для організації спалювання продуктів піролізу. Схему експериментальної установки наведено на рис. 1.

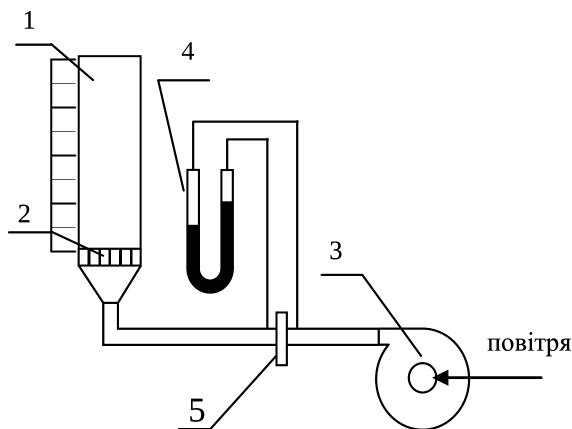



Рисунок 1 – Схема експериментальної установки:
1 – труба кварцова; 2 – сітка, що розподіляє повітря; 3 – вентилятор; 4 – дифманометр;
5 – діафрагма для виміру витрати повітря

Дослідження проводилися за наступною методикою. Біомаса зважувалась та завантажувалась у кварцову трубу. Далі верхній шар біомаси підпалювався, а знизу подавався потік повітря зі сталою шви-

VISIT…

LANZAROTE

Caliente.com

дкістю. Фронт горіння, що утворювався, поступово просувався зверху вниз, на зустріч потоку повітря. Піролізні гази, що виходили із шару біомаси, спалювались над ним за допомогою запального пальника.

Під час експериментальних досліджень фіксувалась витрата повітря через шар біомаси. Візуально визначалася швидкість руху фронту горіння, його товщина та інтенсивність виходу і горіння піролізних газів.

У якості біомаси було досліджено шкарлупу грецького горіха, лушпиння гречихи, солому, тирсу.

Данні по фракційному складу досліджуваної біомаси наведено в табл. 1 [1].

Таблиця 1 – Лінійні розміри часток деяких видів біомаси

| Вид біомаси | Діапазон зміни довжини часток, мм | Діапазон зміни ширини часток, мм | Діапазон зміни площі поверхні часток, мм$^2$ |
|---|---|---|---|
| Шкарлупа грецького горіха | 4,5–22,8 | 2,43–15,73 | 11,5–376,8 |
| Лушпиння гречихи | 3,7–8,1 | 3,2–5,6 | 29,2–78,1 |
| Тирса | 0,5–5 | – | – |
| Солома | 5–100 | 1–3 | – |

У експериментальних дослідженнях основні режимні параметри змінювалися у наступних діапазонах: температура повітря на вході в шар 0–10 ºС, висота шару біомаси складала 40–42 см, швидкість руху повітря – 0,5–6,0 м/хв. Максимальна швидкість була обмежена швидкістю, при якій частки біомаси або біовугілля, що утворилося після піролізу, виносилися із труби. Для шкарлупи горіха максимальна швидкість повітря складала 4–6 м/хв., для всіх інших видів дослідженої біомаси вона не перевищувала 1,5–1,8 м/хв.

**Результати досліджень.** На рис. 2 наведено фото процесу піролізу шкарлупи грецького горіха та схематично представлено розташування теплової хвилі по висоті біомаси.

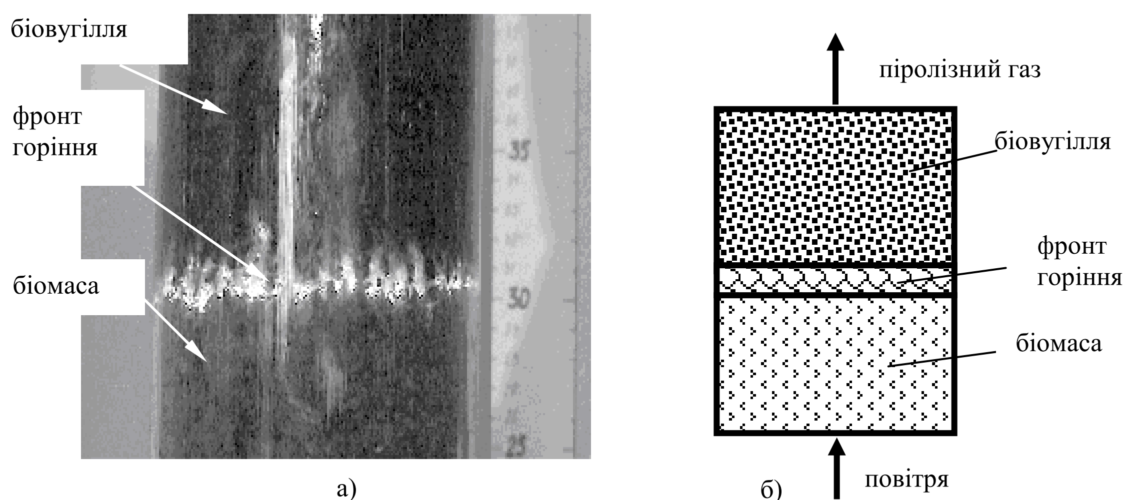



Рисунок 2 – Фільтраційне горіння шару біомаси:
а) фото процесу фільтраційного горіння шкарлупи грецького горіха; б) схема процесу

З візуальних спостережень руху фронту горіння можна зробити наступні висновки. Рух фронту горіння відбувається завдяки переносу теплоти у наступний шар за рахунок випромінюванні розігрітих часток, теплопровідності матеріалу біомаси при безпосередньому контакту розігрітих і холодних часток та при так званому «масопереносі» нагрітих частинок у холодний шар. Останній механізм теплопереносу

обумовлений тим, що у фронті горіння при активізації процесу піролізу (температура шару 300 ºС і більше) спостерігається розщілнення шару за рахунок виходу летючих продуктів розкладення. Таким чином, розігріті частинки біомаси провалюються у пори, які утворюються у наступному шарі і інтенсифікують рух фронту горіння.

З другого боку потік холодного повітря охолоджує шар біомаси, що примикає до фронту горіння. Відповідно рух фронту горіння і реалізація процесу можливі тільки при виконанні наступної вимоги: сума теплових потоків нагріву шару біомаси випромінюванням $q_{ВИП}$, теплопровідністю $q_{ТЕП}$ та в результаті «масопереносу» часток $q_{ЧАСТ}$ повинна перевищувати конвекційний тепловий потік $q_{КОНВ}$ охолодження біомаси повітрям

$$q_{ВИП} + q_{ТЕП} + q_{ЧАСТ} > q_{КОНВ}. \quad (1)$$

Однією з основних характеристик процесу піролізу при фільтраційному горінні є показник нерівномірності та стабільності фронту горіння. На нерівномірність руху фронту горіння впливають наступні чинники:

– нерівномірне запалювання поверхні шару біомаси;
– нерівномірність фракційного складу біомаси;
– геометрична форма часток біомаси;
– рівномірність розподілу повітря по перетину шару.

На рис. 3 наведено фотографії руху теплової хвилі для експериментів із лушпинням гречихи у різні моменти часу. Результати аналізу спостережень свідчать про стійкий характер руху теплової хвилі нерівномірність сходу фронту горіння не перевищувала 2–3 см для шкарлупи волоського горіха та лушпиння гречки.

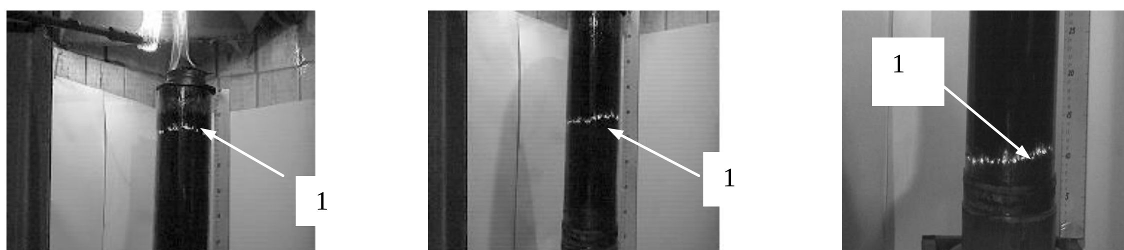



Рисунок 3 – Рух теплової хвилі (1) під час експерименту із лушпинням гречихи

Експерименти підтвердили суттєве значення рівномірності початкового розподілу фронту горіння по перетину нерухомого шару на стабільність процесу. При нерівномірному початковому розпалюванні верхнього шару, фронт горіння рухається також нерівномірно.

Чим більша нерівномірність фракційного складу біомаси, тим більш негативно це впливає на стабільність фронту горіння. В цьому випадку, навіть при рівномірному запалюванні поверхні шару, через деякий час можливо спостерігати порушення рівномірності та стабільності руху теплової хвилі та рух фронту на локальній частині шару. Такий характер процесу обумовлюється нерівномірним розподілом повітря по перетину шару у зв’язку з значною зміною порозності шару. Саме такий характер процесу спостерігався при піролізі соломи та тирси.

Якщо в якийсь момент утворювалися явно визначені канали, по яким повітря йде крізь шар, такі канали будуть дуже стійкими допоки фронт не пройде всю висоту шару. Завдяки цьому, горіння відбувається саме у цих каналах, а решта біомаси залишається без доступу окислювача. Збільшення витрати повітря крізь шар практично не впливає на зміну каналів, що утворилися. Зруйнувати їх може або різка, штовхообразна, зміна витрати повітря. Для тирси стійке каналоутворення обумовлено також геометричною формою часток, поганою текучістю, здатністю к підвисанню відходів біомаси.

Для лушпиння гречихи товщина фронту горіння складала 1–1,5 см, швидкість руху теплової хвилі 1,5–1,7 см/хв., для шкарлупи грецького горіха: товщина фронту 2–4 см, швидкість руху хвилі 0,4–0,6 см/хв.

**Висновки.** Виконано експериментальні дослідження, що дозволили візуально спостерігати рух фронту горіння при термічній обробці щільного шару біомаси. На основі отриманих результатів сформульовано механізм теплопередачі при піролізі біомаси у щільному шарі, який на ряду з відомими складовими містить теплопередачу в результаті «масопереносу» гарячих часток біомаси у холодні шари.

Визначено основні чинники, що впливають на інтенсивність та стабільність руху фронту горіння крізь шар біомаси: нерівномірне запалювання поверхні шару, нерівномірність фракційного складу, геометрична форма часток біомаси, рівномірність розподілу повітря по перетину шару.

Література

1. Шевченко Г.Л., Шишко Ю.В., Усенко А.Ю., Кремнева Е.В. Исследование основных характеристик отходов биомассы как топлива // Металургійна теплотехніка: Збірник наукових праць Національної металургійної академії України. – Дніпропетровськ: "ПП Грек О.С.", 2007.– С. 305–313.

УДК 662.743

Шевченко Г.Л., Шишко Ю.В., Губинский С.М., Кремнева Е.В., Усенко А.Ю.

**ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРАЦИОННОГО ГОРЕНИЯ В ПЛОТНОМ СЛОЕ БИОМАССЫ**

Выполнены экспериментальные исследования, позволяющие визуально наблюдать движение фронта горения при термической обработке плотного слоя биомассы. Определены основные факторы, влияющие на интенсивность движения фронта горения сквозь слой биомассы.

Shevchenko G.L., Shyshko Yu.V., Gubinskyy S.M., Kremneva E.V., Usenko A.Yu
.

**THE VISUALIZATION OF FILTRATIVE BURNINY PROCESS IN DENSE LAYER OF BIOMASS**

The experimental researches were carried out that lets to observe visually the movement of burning front during thermal theatment of the biomass dense layer. The essential factors that influence on front movement intensity are defined.